

부산시내 물놀이형 수경시설 수질특성 및 관리항목 개선에 관한 연구

유은희[†] · 유숙진 · 정태욱 · 지화성 · 박은희 · 이경심
수질분석과

Study on Improving the Water Quality Characteristics and Management of Waterscape Facilities for Recreation in Busan

Yu Eun-hee[†], You Sook-jin, Jeong Tae-uk, Ji Hwa-seong, Park Eun-hee, Lee Kyeong-sim
Water Analysis Division

Abstract

The results of water quality of sixteen waterscape facilities in Busan have shown that these facilities met the water quality management guidelines of Ministry of Environment: pH between 7.3 and 8.1; turbidity between 0.1 and 2.6 NTU; average 0.13 mg/L of ammonium-nitrogen; average 2.3 mg/L of nitrate-nitrogen; THM between 0 and 0.083 mg/L; and almost none residual chlorine. Fecal *Streptococcus*, *Pseudomonas aeruginosa*, *Salmonella*, *Shigella* and *Clostridium perfringens* were all not detected in the water of these facilities. *Legionella* species was almost ND, but once 200 CFU/L. The amount of total colony exceeded the drinking water quality standards, and the amount of *E.coli* met the standard for waterscape facilities but exceeded the drinking water quality standard in some places. Although the water source of waterscape facilities is supplied from the tap water and well-managed, it is advisable that the water quality management guidelines for waterscape facilities follow the drinking water quality standard because of the possibility of children's drinking the water.

Key words : waterscape facilities, total colony, *E.coli*

서론

최근, 생활수준이 높아지고 여가를 가족과 함께 하는 시간이 늘어남에 따라 휴식공간에 대한 시민들의 요구가 증가하면서 나무와 더불어 물을 이용한 수(水) 공간에 대한 관심도 증가하고 있다. 그 대표적인 예로 경관과 위락용으로만 이용되던 분수가 여름철 어린이 물놀이 및 시민들의 도심 속 휴식공간인 물놀이형 수경시설로 바뀌어 이용이 증가하고 있는 추세이다.

물놀이형 수경시설이란 수돗물, 하천수, 지하수 등을 인위적으로 이용하여 실내 또는 야외에 설치하는 분수,

연못, 폭포, 벽천, 계류 등의 시설물로 일반인에게 개방되어 신체와 직접 접촉하여 물놀이 하는 시설¹⁾을 말하는데, 크게 바닥분수, 일반분수, 벽면분수, 인공실개천 등으로 구분된다.

이러한 수경시설은 인공적인 도시환경에서 경관미를 향상시키고 시민들에게 물을 접하는 경험의 기회를 제공한다는 측면에서 그 가치가 높게 평가되고 있으며, 다양한 공간에 여러 유형이 도입되고 있다²⁾.

여러 지방자치단체들과 민간 기업에 의해 설치 운영되는 수경시설의 수가 1,396곳에 이르는 것으로 보고된 바 있으며, 물놀이형 수경시설중 바닥분수와 계류시설은 각

[†] Corresponding author, E-mail : ma930103@korea.kr

Tel : +82-51-309-2936, Fax : +82-51-309-2929

각 32 %, 12 %를 차지한다³⁾.

이처럼 물놀이형 수경시설의 설치가 늘어나면서 주 이용대상인 어린이들이 물놀이 도중 용수를 먹게 되는 경우가 많이 발생하고 있는 실정이다.

이에 본 연구에서는 기본 수경시설의 항목 외에 먹는물 항목 중 미생물 등의 추가검사로 어린이 건강에 대한 안전성 확보 및 물놀이형 수경시설의 수질의 위생수준을 파악하여 추후 수경시설의 기준항목 확대 등 대책 수립시 관리방안을 제시하는데 기초자료로 도움이 되고자 한다.

이론적 배경

환경부에서 바닥분수 등 지자체에서 운영하는 물놀이형 수경시설을 조사한 Table 1을 살펴보면 전체 수경시설이 2011년 606개에서 2013년 802개로 연평균 16 % 가량 증가했으며, 특히 어린이들이 즐겨 찾는 바닥분수의 경우 2011년 325개에서 2013년 570개로 연평균 증가율이 38 %에 이르는 것으로 나타나 전체 시설 중 차지하는 비중이

2013년 기준으로 전체 수경시설 중 71.1 %인 것으로 조사되었다.

또한 환경부에서는 2010년 8월에 바닥분수 등 물놀이형 수경시설을 이용하는 국민의 건강을 위하여 ‘물놀이형 수경시설 수질관리 지침’을 마련하여 국가나 지방자치단체 등이 운영하는 물놀이가 가능한 바닥분수 등에 적용토록 하고 있다.

환경부에서 제시한 물놀이형 수경시설의 수질기준은 Table 2에서 보는 바와 같이 대장균, pH, 탁도에 대해서만 수질기준이 설정되어 있으며, 레지오넬라균은 대장균 기준 초과시설에 대하여만 실시하고, 상수를 사용하지 않는 경우에는 질산성질소 및 과망간산칼륨소비량에 대해서도 모니터링하도록 설정되어 있다.

또한 “물놀이형 수경시설은 수영장이나 유원지와는 달리 구조적으로 수질관리에 취약하다.”며 “이용객이 급증하는 여름철에 깨끗하고 안전하게 사용하기 위해서는 정기적인 용수교체, 소독, 수질검사, 주변청소 등 철저한 수질관리와 함께 이용객들의 주의와 협조가 필요하다.”고 밝혔다.

Table 1. Waterscape facilities by type (2011 ~ 2013)

(Unit : ea)

| Year | Sum | Floor Fountains | General Fountains | Artificial Streams | Wall Fountains | Others |
|-------------------------|----------------|-----------------|-------------------|--------------------|----------------|---------------|
| 2013 | 802 (100 %) | 570 (71.1 %) | 98 (12.2 %) | 48 (6.0 %) | 43 (5.4 %) | 43 (5.4 %) |
| 2012 | 720 (100 %) | 506 (70.3 %) | 81 (11.3 %) | 51 (7.1 %) | 44 (6.1 %) | 38 (5.3 %) |
| 2011 | 606 (100 %) | 325 (53.6 %) | 175 (28.9 %) | 35 (5.8 %) | 42 (6.9 %) | 29 (4.8 %) |
| Annual rate of increase | 16 % | 38 % | ▽22 % | 19 % | 1 % | 24 % |

※ Others: artificial waterfalls, artificial ponds, complex facilities, etc

Table 2. Guideline items of waterscape facilities

| Item | permitted limit | notes |
|----------------------------------|-------------------------|---|
| pH | 5.8 ~ 8.6 | |
| Turbidity | 4 NTU below | |
| <i>E. coli</i> | 200(number/100mL) below | |
| <i>Legionella</i> spp. | - | Measurements were made from only the facilities that exceeded standard for <i>E. Coli</i> |
| NO ₃ -N | - | Measurements were made from only the facilities that do not use tap water |
| Consumption of KMnO ₄ | - | Measurements were made from only the facilities that do not use tap water |

대표적인 물놀이형 수경시설인 바닥분수는 Fig.1에서처럼 저수조에 저장된 물이 끌어올려져 이용되고 이용된 물은 다시 별도의 처리 없이 직접 저수조에 들어가 재이용되는 구조이며, 수질관리가 필요한 경우 저수조에 관리인이 직접 약품을 투입하는 수동방식으로 운영되고 있다. 물놀이형 수경시설의 수질관리 실태는 환경부의 지속적인 홍보와 관리대책 추진 등으로 개선추세에 있기는 하지만, Table 3을 살펴보면 2013년에 조사한 실제 가동 중인 764개 중 23 %인 176개가 부적정 관리 시설인 것으로 드러나 지속적인 관리 강화 대책 등이 필요한 것으로 나타났다.

특히, 수질기준을 초과하는 물놀이형 수경시설이 40개 (5.2 %)이며 이중 37개가 바닥분수인 것으로 조사되었는데, 이러한 바닥분수가 수질오염에 취약한 원인으로서는 이용자가 많은데다 외부 불순물 유입이 쉽고 별도의 처리 없이 물을 재이용하는 구조 때문인 것으로 분석되었다. 수질기준을 초과한 항목은 대장균 34개(85 %), pH 5개

(12.5 %), 탁도 1개(2.5 %) 등으로 나타났다. 수질관리가 소홀할 경우, 용수가 유아와 어린이의 피부에 접촉하고 입이나 호흡기에 들어가, 피부염, 구토, 설사 등을 유발할 수도 있어 보다 철저한 수질관리가 필요한 것으로 나타났다⁴⁾.

재료 및 방법

연구대상 및 시료채취

본 연구의 대상시설은 부산시내 물놀이형 수경시설 16개소에 대하여 조사하였고 시료 채취지점은 Fig. 2와 같다.

시료 채취는 2014년 5월에서 9월까지 하였는데, 하절기인 7월 ~ 8월에 월 1회 이상을 포함하여 대상시설가동 여부에 따라 2회 ~ 5회 채수하였으며, 그 외 의뢰되는 시료에 대해서도 분석한 결과를 적용하였다. 대상시설에 대한 자세한 사항은 Table 4에 나타내었다.

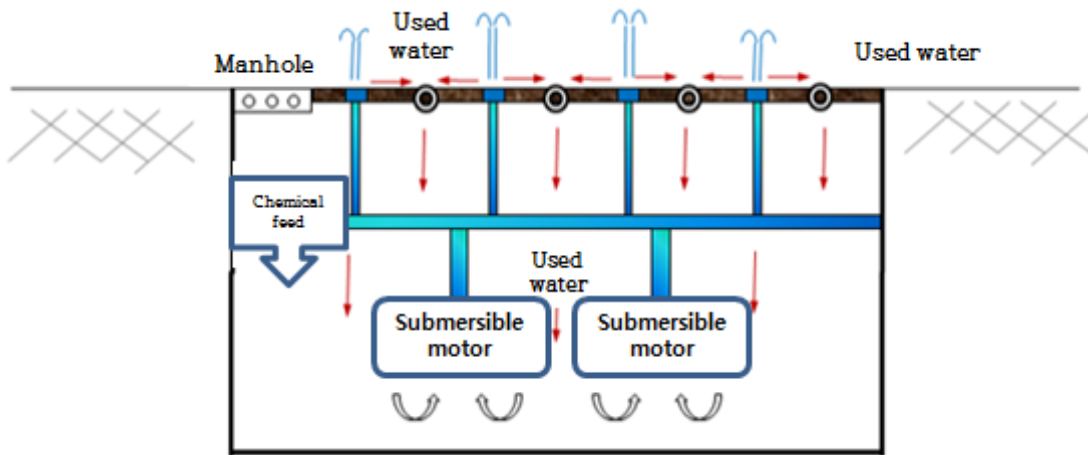


Fig. 1. Structure and hydrological cycle of a floor fountain.

Table 3. Management state of waterscape facilities in operation (2011 ~ 2013)

(Unit : ea)

| Year | Facilities in Operation | | | | | |
|------|-------------------------|-------------------|-----------------|----------------------------------|--|------------------------|
| | Sum | Proper Management | Sum | Exceeding Water Quality Standard | Lacking Number of Water Quality Checks | No Water Quality Check |
| 2013 | 764 (100 %) | 588 (77.0 %) | 176 (23.0 %) | 40 (5.2 %) | 105 (13.7 %) | 31 (4.1 %) |
| 2012 | 691 (100 %) | 527 (76.3 %) | 164 (23.7 %) | 42 (6.1 %) | 88 (12.7 %) | 34 (4.9 %) |
| 2011 | 567 (100 %) | 410 (72.3 %) | 157 (27.7 %) | 28 (4.9 %) | 58 (10.2 %) | 71 (12.5 %) |

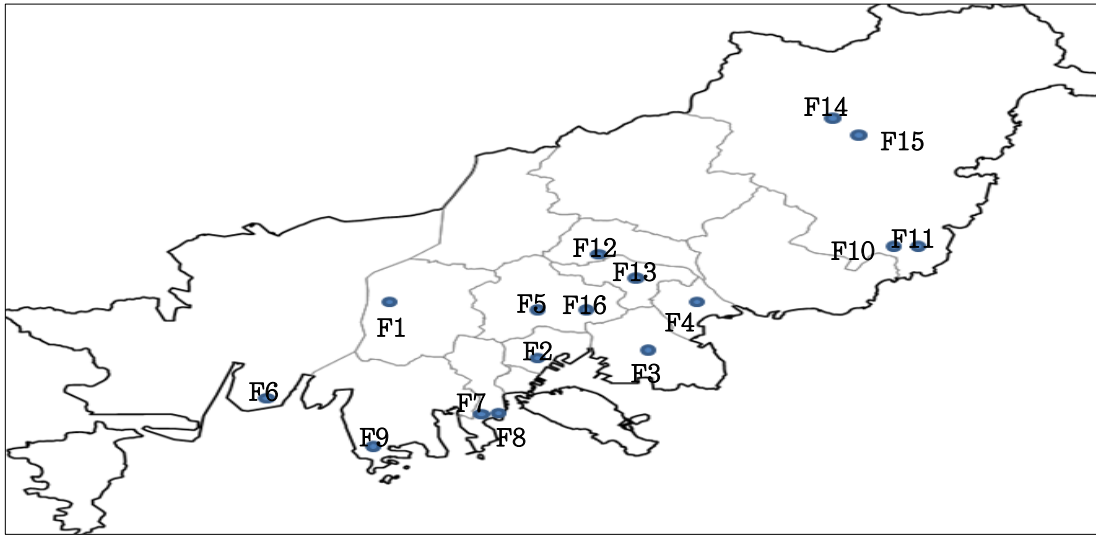


Fig. 2. Location of the sampling sites.

Table 4. The characteristics of sampling sites described in Fig. 2

| Sampling Site | Type | Raw Water | Management | Operation Period | characteristics |
|---------------|----------------|--------------|--------------------------------------|---------------------------|---|
| F1 | floor fountain | Tap water | Sasang-gu office | Jun ~ Sep | |
| F2 | floor fountain | Tap water | Dong-gu office | Apr ~ Oct | Cleans every week Disinfectant injection |
| F3 | floor fountain | Tap water | Nam-gu office | Apr ~ Oct | Stores water when not in operation |
| F4 | floor fountain | Tap water | Suyeong-gu office | Jun ~ Sep | Runs automatically |
| F5 | floor fountain | Tap water | Infrastructure corporation | May ~ Sep | Create |
| F6 | floor fountain | Tap water | Gangseo-gu office | Apr ~ Oct | Cleans every week |
| F7 | floor fountain | Tap water | Seo-gu office | Opening period of beaches | |
| F8 | floor fountain | Tap water | Seo-gu office | Opening period of beaches | |
| F9 | floor fountain | Tap water | Saha-gu office | Apr ~ Oct | |
| F10 | floor fountain | Tap water | Kijang-gun Office | During summer vacation | Drains water when not in operation |
| F11 | floor fountain | Tap water | Kijang-gun Office | During summer vacation | Drains water when not in operation |
| F12 | floor fountain | Ground water | Dongnae-gu office | Jul ~ Aug | Stores water when not in operation |
| F13 | other facility | Tap water | Oncheon-cheon park Management Office | During summer vacation | Cleans every day |
| F14 | floor fountain | Tap water | City management Corporation | Jul ~ Aug | Drains water when not in operation |
| F15 | floor fountain | Tap water | City management Corporation | Jul ~ Aug | Drains water when not in operation |
| F16 | floor fountain | Tap water | Infrastructure Corporation | May ~ Sep | Create |

분석항목 및 분석방법

분석항목은 ‘물놀이형 수경시설의 수질관리 지침’ 항목인 pH, 탁도, 대장균, 질산성질소, 과망간산칼륨소 비량 및 레지오넬라 뿐만 아니라 먹는물의 미생물 항목인 일반세균, 총대장균군, 분원성대장균군, 살모넬라, 쉬겔라, 녹농균, 분원성연쇄상구균, 아황산환원혐기성포자형성균을 추가하였다. 또한 대부분이 상수를 원수로 사용하고 있어 소독으로 인한 THM의 발생여부와 암모니아성 질소를 분석하여 유기물의 오염정도를 알아보았다.

대장균은 수질오염공정시험기준의 대장균 분석방법에 의해 분석하였고, 레지오넬라균(개체수/L)은 질병관리본부의 레지오넬라균 관리지침⁵⁾에 따라 실시하였는데, 35 ℃ 습도를 유지한 배양기에서 검체 1 L를 멸균여과기(0.45µm)에 여과하여 멸균류류수 20 mL의 시험관에 여과지를 넣어 현탁하여 50 ℃에서 30분 열처리하였다. 열처리한 검액 100 mL를 GVPC가 함유된 BCYE 배지에 도말하여 10일간 배양하였다. 자라나온 집락에 대해 L-cystine 요구주를 확인하여 16s rRNA 및 mip 유전자를 PCR로 확인하였다. 유전자의 염기서열 및 PCR 조건은 Table 5 및 Table 6과 같으며, 최종 개체수는 자라나온 집락수에 농축계수를 곱하여 계산하였다. 그 외 항목은 먹는물수질공정시험기준에 따라 분석하였다.

pH는 현장에서 측정하였으며, THM용 vial 및 무균 채수통을 이용하여 채취한 후 시료는 4 ℃ 이하로 냉장 운

반하였다.

결과 및 고찰

관내 수경시설현황 및 관리실태

관내 지자체에서 운영 중인 물놀이형 수경시설 12개소, 민간에 위탁 운영하는 시설 4개소 등 총 16개소에 대하여 조사한 시설현황 및 관리실태 등을 Table 4에 나타내었다.

이러한 물놀이형 수경시설의 유형을 살펴본 바 여름방학 중 수영장으로 사용하는 F13 지점을 제외하고는 광장의 기능과 이용자들의 동선을 저해하지 않고 어린이들이 들어가 뛰어놀 수 있는 바닥분수⁶⁾로서 여름철 어린이들에게 인기가 높았고 어른들에게도 휴식공간을 제공하고 있었다.

원수별 현황을 살펴보면 전체 수경시설 중 F12 한지점만 지하수를 사용하고 있었고 나머지는 상수를 이용하고 있어 본 연구 대상의 수원인 원수 자체의 병원성 세균 및 위해성 화학물질에 의한 사람의 건강상 문제를 일으킬 위험성은 비교적 낮다고 사료되었다.

원수 이용방법은 수영장 시설인 F13 지점에서는 매일 물을 교체하였고 나머지 지점에서는 원수를 재순환하는 방식이었으며 부족시 용수를 보충하는 방식으로 운용되고

Table 5. Description of primers used in this study

| Primer set | Oligoneucleotide sequence | product | Target species |
|------------|--------------------------------------|---------|------------------------|
| 16S rRNA | F: 5' -AGG GTT GAT AGG TTA AGA GC-3' | 386 | <i>Legionella</i> spp. |
| | R: 5' -CCA ACA GCT AGT TGA CAT CG-3' | | |
| mip | F: 5' -GGT GAC TGC GGC TGT TAT GG-3' | 630 | <i>L. pneumophila</i> |
| | R: 5' -GGC CAA TAG GTC CGC CAA CG-3' | | |

Table 6. The condition of PCR for *Legionella* spp.

| Condition | Cycle |
|------------|-------|
| 95 ℃ 5 min | 1 |
| 95 ℃ 1 min | |
| 60 ℃ 1 min | 30 |
| 72 ℃ 1 min | |
| 4 ℃ | ∞ |

있었다.

F10 지점 등 기장군 4개 지점에서는 시설을 사용하지 않을 때는 배수하였고 그 외는 그냥 물탱크에 저장했다가 가동시 청소 후 가동하는 것으로 조사되어 수질오염이 우려되었다.

바닥분수는 앞에서도 언급한 바 대부분이 Fig. 1에서

처럼 저수조에 저장된 물을 바로 올려서 사용하고 사용후 별도의 처리 없이 저수조로 떨어진 물이 다시 재이용되는 구조로 되어 있었는데 Fig. 3에서 보는 것처럼 F2 및 F9 지점에서는 별도의 여과장치를 이용하여 전담관리인이 가동하고 있었다. 또한 F4 지점은 무인시스템으로 전자동으로 관리되고 있었으며, F5 지점과 F16 지점은 올 하반기



Filtration system (Dadaepo Beach)



Filtration system (Busan station)



Preparing water sampling(Dadaepo)



Water tank(Peace Park)



Children playing in a fountain (Busan station Square)



Night music fountain(Dadaepo Beach)

Fig. 3. A view of waterscape facilities.

에 신설되어 도중에 추가하였다.

수경시설의 가동시기는 일부지역에서 4월부터 10월까지 운행하는 곳도 있었지만 대부분은 하절기에 집중 가동되고 있었다. Fig. 3에서 보는 것처럼 하절기의 주간에는 정해진 시간에 분수가 가동되면 갑자기 인파가 몰리고 많은 아이들이 옷을 입고 신발을 신은 채로 물놀이를 하고 있어 미끄럼 등의 안전사고와 함께 수질 오염 등이 우려가 되었다.

또한, 야간에는 음악분수를 가동하거나 레이저 쇼 등을 관람할 수 있도록 하여 새로운 관광상품으로 좋은 볼거리를 제공하고 있었다.

청소주기에 대한 지침은 별도로 없었지만 대부분의 지점에서 하절기에는 1주일에 한번 청소를 하고 있었고, F2 지점을 제외하고는 별도로 소독약을 주입하는 곳은 없는 것으로 조사되었다. 또한, 환경부에서 배포한 물놀이형 수경시설의 수질관리지침에 의거한 가동기간 중 월 1회 이상 수질검사 실시 횟수 등도 잘 준수하고 있었다. 환경부에서는 이러한 물놀이형 수경시설 수질관리 지침을 각 지방자치단체에서 준수토록 하고 있을 뿐만 아니라, Fig. 4에서 보는 바와 같이 시민들에게도 이용자 준수사항 전단지 및 스티커를 통하여 홍보 및 관리를 하고 있어 앞으로 보다 안전한 물놀이가 될 것으로 기대되었다.

이화학적 수질 특성

물놀이형 수경시설 수질관리지침 항목 중 질산성질소, 과망간산칼륨소비량은 모니터링 항목으로 원수가 상수가 아닌 경우 분석하게 되어 있으나 본 연구에서는 모든 시

설에 대하여 분석하였으며 암모니아성 질소와 THM 및 잔류염소도 측정하였다. Fig. 5 및 Table 7에 각 지점별 이화학적 수질결과를 보여주고 있는데, 각 분석 항목의 평균과 표준편차, 최대값 및 최소값을 나타내었다.

pH는 7.3 ~ 8.1의 범위로 평균 7.7로 나타나 수경시설과 먹는물 기준에 모두 적합한 것으로 나타났다. 탁도의 평균값은 0.44 NTU, 범위는 0.10 NTU ~ 2.60 NTU로 나타났고, 유기물의 오염정도를 측정하는 암모니아성 질소는 평균 0.13 mg/L로 먹는물 기준에 적합이었으나 F8 지점에서 최고 1.18 mg/L로 높게 나타난 적도 있었다. 질산성질소인 경우 지하수를 이용하는 F12 지점에서 0 mg/L ~ 12.9 mg/L의 값을 보인 반면 상수를 이용하고 있는 나머지 지점에서는 평균 2.1 mg/L, 0.9 mg/L ~ 4.9 mg/L의 범위로 나타났다. 유기물의 지표로 알려져 있는 과망간산칼륨 소비량의 평균값은 1.6 mg/L 이었는데, F6 지점에서 하절기에 8.5 mg/L의 값을 보인 적도 있었다. 그 외 지점에서는 평균 1.4 mg/L로 낮게 나타나 모니터링 항목으로 수경기준에는 없지만 먹는물 기준에 적용시켜도 모두 적합한 것으로 나타났다.

탁도는 점토, 미사, 콜로이드 물질 및 미생물 등의 미세 입자들로 인해 발생하며 빛의 흡수와 산란에 영향을 미치는 것²⁾으로 알려져 있다. 최대 2.6 NTU로 수경기준인 4 NTU에는 기준이하이나 먹는물(상수) 기준인 0.5 NTU의 5배를 초과하였고, 3개 지점의 평균값이 먹는물의 기준을 초과하고 있는 것으로 나타나 관리가 필요한 것으로 나타났다.

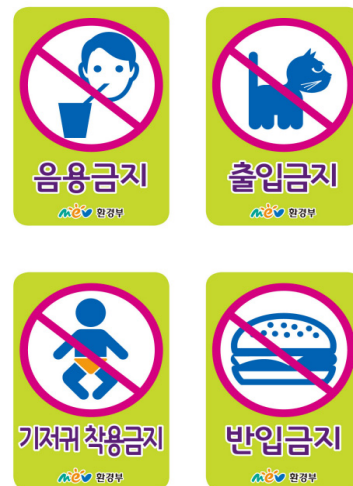


Fig. 4. Waterscape Facility Users' Guideline (distribution by Ministry of Environment).

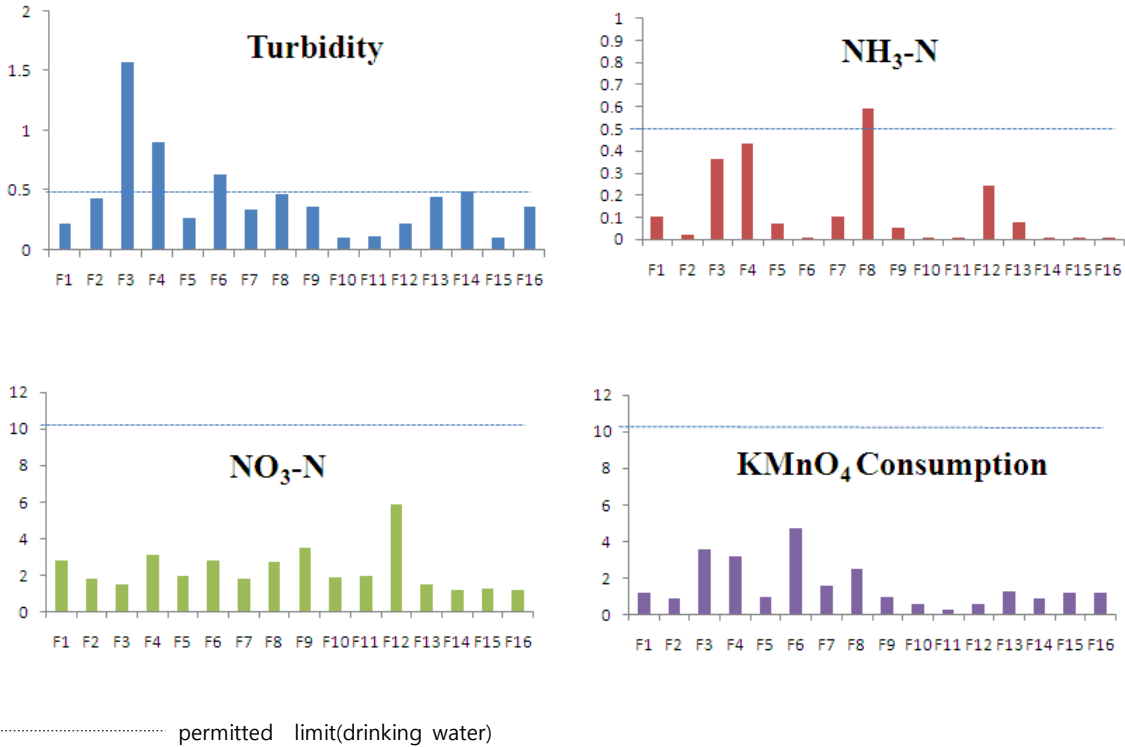


Fig. 5. Results of water quality parameters of waterscape facilities.

암모니아성 질소는 0 mg/L ~ 1.18 mg/L의 범위로 나타났는데, 주기적으로 소독약을 주입하는 F2 지점 및 가동하지 않을 때 용수를 배수하는 지점에서 대체로 낮은 값을 보였다. 수경시설의 기준에는 없으나 주로 동물의 배설물로 인해 발생하는 것으로 그 자체는 위생상 무해하다고 알려져 있으나 병원성 미생물을 수반할 염려가 있으므로 주의를 요한다. 암모니아성 질소를 함유한 물은 비교적 단시간에 동물의 배설물, 하수 및 공장 폐수가 혼합된 것으로 물의 오염을 추정하는 지표가 되므로 추후 항목 추가시 고려할 필요가 있다고 사료된다.

질산성질소는 대부분의 지점에서 상수를 원수로 하고 있어 큰 차이가 없이 낮은 농도를 보였으며, 지하수를 이용하는 F12 지점에서는 지하수에 따라 값의 변동이 있었는데, 먹는물 기준인 10 mg/L를 초과한 적도 있었다. 질산성 질소는 영유아에게 청색증을 일으킬 수 있는 물질로 알려져 있으므로 어린이들이 많이 이용하는 물놀이형 수경시설의 경우 모니터링 항목에서 기준항목으로 확대하여 관심있게 살펴보아야 할 것으로 사료된다²⁾.

THM은 물에 함유되어 있는 유기물질과 정수과정에서 소독시 사용되는 염소가 반응하여 생기는 소독부산물로

인체에 암을 일으키는 발암물질로 알려져 있다. THM은 상수원의 염소 소독을 많이 할수록 반응시간이 길수록 많이 생성되며 pH가 높을수록, 송수관에 머무는 시간이 길수록 더욱 활발하게 생성되는데 본 연구에서는 0 mg/L ~ 0.083 mg/L로 나타나 전 지점에서 먹는물의 기준인 0.1 mg/L 이하로 나타났다.

잔류염소의 경우도 Table 7에서 보는 것처럼 주로 상수를 원수로 사용하고 있었지만 별도로 소독약을 주입하는 F2 한 지점에서만 0.2 mg/L의 잔류염소가 검출되었고 나머지 지점에서는 불검출이었다. 바닥분수의 특성상 소독된 상수를 사용하더라도 일정시간이 지나면 휘발되어 미생물들이 활동할 가능성이 높기 때문에 정기적인 소독을 통하여 수질관리를 강화할 필요가 있다고 판단되었다. 먹는물의 경우 유리잔류염소의 기준이 4.0 mg/L로 정해져 있고, 수영장수는 0.4 mg/L ~ 1.0 mg/L로 정하여 소독에 대해 관리를 하고 있다. 유리 잔류염소가 0.1 mg/L이하로 떨어지면 미생물 등의 오염이 우려되므로⁶⁾ 잔류염소에 대한 관리기준을 추가하여 소독관리를 철저히 할 필요가 있다고 판단되었다.

이와 같이 이화학적 수질의 특성을 살펴본 결과, 환경

Table 7. Concentrations of water quality parameters of waterscape facilities

| Site | pH | Turbidity (NTU) | NH ₃ -N (mg/L) | NO ₃ -N (mg/L) | KMnO ₄ Consumption (mg/L) | THM (mg/L) | Residual Chlorine (mg/L) |
|--|-----------|--------------------|------------------------------|------------------------------|--|---------------|--------------------------------|
| | Mean ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD | Mean ± SD | |
| F1 | 7.6 ± 0.2 | 0.22 ± 0.10 | 0.10 ± 0.04 | 2.8 ± 1.2 | 1.2 ± 0.2 | 0.010 ± 0.008 | 0.00 |
| F2 | 7.7 ± 0.3 | 0.43 ± 0.52 | 0.02 ± 0.02 | 1.8 ± 0.9 | 0.9 ± 0.6 | 0.048 ± 0.025 | 0.20 |
| F3 | 7.5 ± 0.2 | 1.58 ± 1.09 | 0.36 ± 0.59 | 1.5 ± 0.0 | 3.6 ± 2.2 | 0.000 | 0.00 |
| F4 | 7.7 ± 0.1 | 0.91 ± 0.57 | 0.43 ± 0.52 | 3.1 ± 1.5 | 3.2 ± 0.5 | 0.001 ± 0.001 | 0.00 |
| F5 | 7.8 ± 0.3 | 0.27 ± 0.18 | 0.07 ± 0.05 | 2.0 ± 0.5 | 1.0 ± 0.2 | 0.042 ± 0.038 | 0.00 |
| F6 | 7.7 ± 0.2 | 0.64 ± 0.76 | 0.01 ± 0.00 | 2.8 ± 1.1 | 4.7 ± 5.4 | 0.038 ± 0.054 | 0.00 |
| F7 | 7.9 ± 0.3 | 0.34 ± 0.17 | 0.10 ± 0.16 | 1.8 ± 0.8 | 1.6 ± 0.9 | 0.003 ± 0.005 | 0.00 |
| F8 | 7.7 ± 0.4 | 0.47 ± 0.13 | 0.59 ± 0.83 | 2.7 ± 0.3 | 2.5 ± 0.0 | 0.012 ± 0.017 | 0.00 |
| F9 | 7.8 ± 0.1 | 0.37 ± 0.17 | 0.05 ± 0.04 | 3.5 ± 1.3 | 1.0 ± 0.2 | 0.000 ± 0.001 | 0.00 |
| F10 | 7.9 ± 0.1 | 0.11 ± 0.03 | 0.01 ± 0.01 | 1.9 ± 0.2 | 0.6 ± 0.1 | 0.019 ± 0.003 | 0.00 |
| F11 | 8.0 ± 0.2 | 0.12 ± 0.02 | 0.01 ± 0.01 | 2.0 ± 0.4 | 0.3 ± 0.1 | 0.019 ± 0.003 | 0.00 |
| F12 | 8.0 ± 0.1 | 0.22 ± 0.19 | 0.24 ± 0.41 | 5.9 ± 6.5 | 0.6 ± 0.3 | 0.000 | 0.00 |
| F13 | 7.5 ± 0.1 | 0.45 ± 0.04 | 0.08 ± 0.10 | 1.5 ± 0.3 | 1.3 ± 0.1 | 0.016 ± 0.001 | 0.00 |
| F14 | 7.4 ± 0.1 | 0.49 ± 0.02 | 0.01 ± 0.01 | 1.2 ± 0.1 | 0.9 ± 0.1 | 0.080 ± 0.003 | 0.00 |
| F15 | 7.4 ± 0.2 | 0.11 ± 0.04 | 0.01 ± 0.01 | 1.3 ± 0.2 | 1.2 ± 0.1 | 0.065 ± 0.010 | 0.00 |
| F16 | 7.6 ± 0.3 | 0.37 ± 0.08 | 0.01 ± 0.02 | 1.2 ± 0.3 | 1.2 ± 0.3 | 0.000 | 0.00 |
| Average | 7.7 | 0.44 | 0.13 | 2.3 | 1.6 | 0.022 | 0.00 |
| Max | 8.1 | 2.60 | 1.18 | 12.9 | 8.5 | 0.083 | 0.20 |
| Min | 7.3 | 0.10 | 0.00 | 0.0 | 0.3 | 0.000 | 0.00 |
| permitted limit (waterscape facilities) | 5.8–8.6 | 4 below | – | – | – | – | – |
| permitted limit (drinkig water) | 5.8–8.5 | 0.5 below | 0.5 below | 10 below | 10 below | 0.1 below | 4.0 below |

부에서 제시한 물놀이형 수경시설 수질관리 지침을 초과한 곳은 한 군데도 없는 것으로 나타나 수경시설의 관리가 잘 되는 것으로 판단되었다. 다만, 먹는물수질기준에 적용하였을 때 탁도 및 암모니아성 질소가 초과한 경우가 있어 어린이들이 음용하지 않도록 주의를 해야 할 것으로 판단되었다.

수질의 미생물 특성

최근 급격히 늘어나고 있는 물놀이형 수경시설은 관련 지침과 수질에 관한 기준은 제정되어 있으나 대부분 별도의 소독시설이 없고 주기적인 원수 교체 등에 관한 강제 조항이 없어 특히 미생물 오염에 대한 우려가 있어왔다²⁾.

그중에서도 바닥분수는 물놀이를 하는 도중 어린이들이 직접 또는 간접적으로 수경시설의 물을 음용할 가능성이 많기 때문에 안전성을 알아보기 위해 먹는물수질기준의 병원성 미생물 항목을 추가하여 그 결과값을 Table 8에 나타내었다.

주요 지표세균인 일반세균은 먹는물에서 발견되어도 인체내에서 직접 병을 일으키는 경우는 거의 없다고 알려져 있으며²⁾, 총대장균군보다 높은 염소저항성을 가진 것들이 있어 분변 오염 이외의 오염일 때도 민감하게 반응하므로 멸균 및 소독 잔류성 판단의 지표로 이용되고 있다. 하지만 먹는물의 기준인 100 CFU/mL를 초과할 경우 병원성미생물이 존재할 가능성이 있으므로 물놀이형 수경시설을 이용하는 대상이 주로 면역성이 약한 어린이 들임을 감안했을 때 주의를 해야 할 것으로 판단되는데, 본 연구에서는 Fig. 6과 같이 많은 지점에서 먹는물 기준

을 초과한 것으로 나타났다. 각 지점별 일반세균값을 나타낸 Table 8을 살펴보면 0 CFU/mL ~ 13,000 CFU/mL로 다른 항목과는 달리 큰 폭의 값을 보였는데, 이는 윤²⁾ 등이 연구한 2013년도 광주시의 수경시설의 일반세균값인 110 CFU/mL ~ 14,000 CFU/mL와 비교하면 약간 낮은 것으로 나타났다. Fig. 7을 살펴보면 일반세균이 높은 지점에서 탁도를 비롯하여 유기물의 오염지표인 암모니아성질소 및 과망간산칼륨소비량이 높게 나타났고 이들 지점은 갑자기 인파가 몰리는 지점이었다. F2 지점의 경우는 잔류염소가 0.2 mg/L의 값을 보였음에도 일반세균이 검출되었다. 이는 대부분의 바닥분수가 원수를 받아 일정기간 소독이 유지될 틈도 없이 바로 뿜어올린 후 탱크로 떨어지고 탱크에서 다시 순환하는 시스템으로 되어 있고^{2),4)} 더욱이 더운 여름날 어린이들이 신발을 신은 채로 옷을 입고 물놀이를 하고 이후에도 얼굴, 손발 등을 씻는 행위를 하는 등의 이유로 세균 증식이 활발했던 것으로 사료되었다.

총대장균군은 자체는 인체에 유해하지는 않지만 인간 또는 온혈동물 등 분변오염의 지표로서 소화기계 병원균에 의한 오염가능성을 추정할 수 있다. 분원성 대장균군은 44 °C ~ 45 °C에서 유당을 발효할 수 있는 세균으로 *Escherichia*속과 그보다 낮은 농도로 존재하는 *Klebsiella*속, *Enterobacter*, *Citrobacter* 등으로 구성되어 있다. 이 중 대장균(*E. coli*)만이 분원성이며 인간이나 다른 포유동물, 조류의 분변에 많은 수가 존재하고 분변으로 오염되지 않은 물이나 토양에서는 거의 발견되지 않는다. 총대장균군 및 분원성대장균군은 먹는물기준에 모두 불검출/100mL이어야 하나 Fig. 8을 살펴보면 많

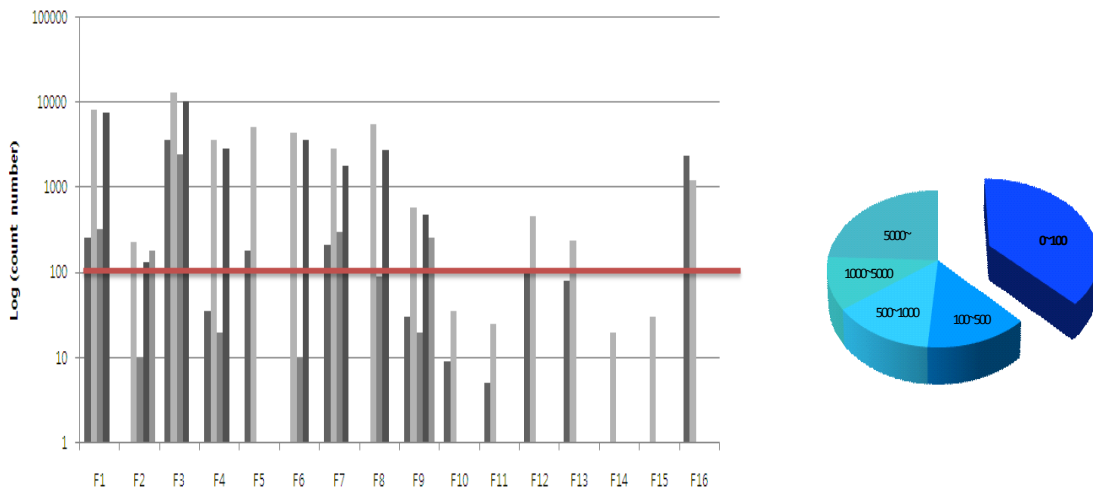


Fig. 6. Characteristics of total colonies.

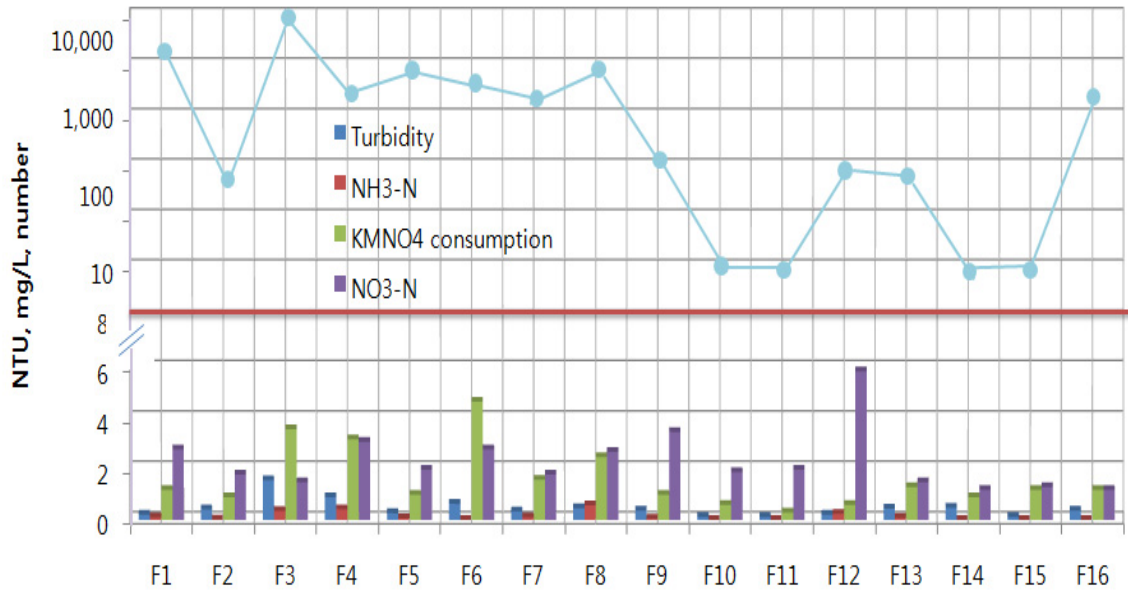


Fig. 7. The comparison between total colony and physiochemical parameter in the water.

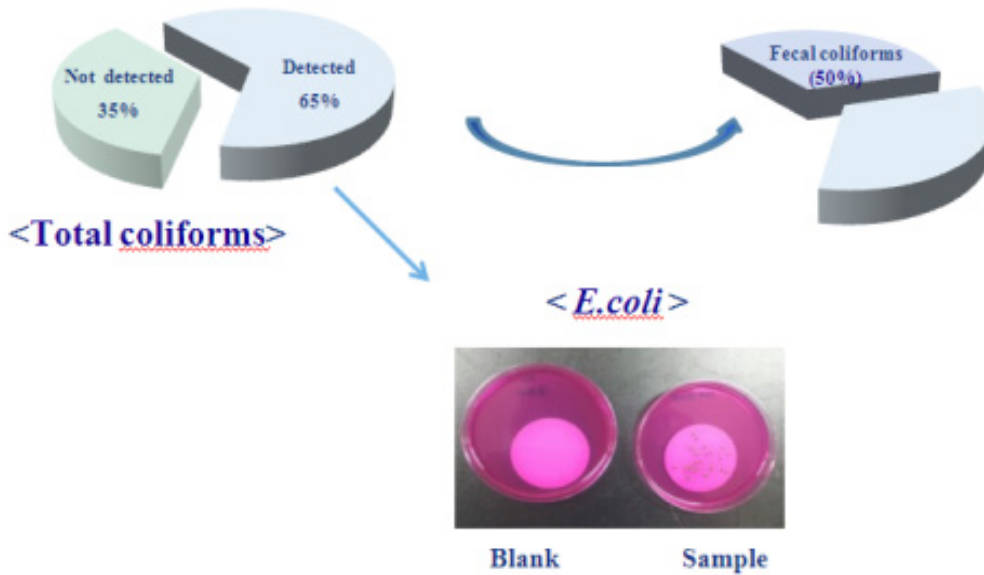


Fig. 8. Distribution of total coliforms, fecal coliforms and *E. coli*.

은 지점에서 총대장균군이 검출되었고, 그중 절반 가량이 분원성대장균군으로 확인되었다. 또한 4 ~ 23의 분포로 대장균(*E. coli*)이 검출되었는데 Table 8에 각 지점별 대장균(*E. coli*) 값을 나타내었다. 이러한 결과도 일반세균 및 유기물 농도가 높은 곳에서 대장균 등이 검출된 것으로 보아, 어린이들이 더운 여름철에 옷을 입은 채로 물놀이 할 때 향문 주위에서 기인되어 분원성대장균군들이

여과 및 소독장치 없이 계속해서 물을 순환시킴으로써 사멸되지 않은 것으로 보인다²⁾.

대장균(*E. coli*)이 수경시설의 기준치이내(200 number/100 mL)의 값을 보였으나, 대장균이 다수 존재하는 경우에는 수계 감염증의 원인이 되는 병원균이 동시에 존재할 가능성이 있기 때문에 공중위생상 문제가 되므로 수경시설의 원수 교체 및 소독 등을 실시하고, 특히 초기 가동시

물탱크속의 원수는 버리고 청소를 깨끗이 한 후 사용하여야 할 것으로 사료된다. 또한 가동시에도 정기적인 용수 교체, 소독, 수질검사, 주변청소 등 철저한 수질관리와 함께 이용객들의 주의와 협조가 필요한 것으로 판단된다²⁾.

레지오넬라균은 수경시설에서 대장균 결과가 기준을 초과한 시설에 한하여 모니터링하는 항목으로 하절기 호흡기계 질환인 레지오넬라증(일면 냉방병)의 원인균으로 알려져 있다.

이러한 레지오넬라균은 냉방기의 냉각탑수나 배관시설의 오염된 물에 저장되어 냉각탑이나 에어컨, 샤워꼭지, 분무기 등에서 분사시 물방울이나 먼지 등을 통해 호흡기를 통해 인체로 들어와 감염된다고 알려져 있다. 본 연구에서는 Table 8에 나타난 바와 같이 대부분 지점에서 불검출이었으나, 8월 F3 지점에서 200 CFU/L가 검출된 적이 있었다. 이는 질병관리본부의 레지오넬라증 관리지침⁵⁾을 살펴보면 10³ CFU/L 미만으로 바람직한 범위에 속해 특별한 조치가 불필요한 범위에 해당된다. 이 관리지침에 따르면 분수의 경우 연 1회 1개의 검체를 검사하여야 하며 10³ CFU/L 이상의 레지오넬라균 검출시 해당시설 관

리자 및 공중위생 담당부서에 통보하여 청소 및 소독의 예방관리를 하도록 하고 있다. 또한 10³ CFU/L ~ 10⁶ CFU/L의 레지오넬라균 검출시 용수는 재검사를 통해 균수의 증감을 주시하도록 하고 있으며, 10⁶ CFU/L 이상인 경우는 즉시 시설의 청소 및 소독처리를 하도록 하고 있다. 청소 후 재검사시 불검출로 나타났고, 또 이 등⁷⁾이 10³ CFU/L 미만의 레지오넬라균은 바닥분수 용수로 사용을 허용하는 것은 타당하다 한 것으로 보아, 본 연구에서의 모든 지점은 바람직한 범위에 속한다고 할 수 있겠다. 그러나, 질병관리본부의 관리지침은 일반적인 관상용 분수를 포함하는 포괄적인 의미의 분수를 정의하며, 물에 신체가 직접 접촉하는 물놀이형 수경시설에서의 물놀이 활동을 직접 규정하고 있지는 않다. 또한 이 지점이 다른 지점과 비교하였을 때 일반세균 및 다른 유기물 농도도 높았고 청소 후 재검사시 불검출로 나타난 점 등을 살펴본 것일 때 보다 엄격한 관리기준에 적용하여 관리하여야 할 것으로 판단되었다.

그 외 국내에서는 먹는샘물을 제외하고는 규제대상으로 정해져 있지는 않지만 병원성 미생물에 대한 안전성을

Table 8. Concentrations of water quality parameters on microorganisms

| Site | Total colonies | <i>E. coli</i> | <i>Legionella</i> spp. | Fecal <i>Stretto-coccus</i> | <i>Pseudomonas aeruginosa</i> | <i>Salmonella</i> | <i>Shigella</i> | <i>Clostridium perfringens</i> |
|-----------------|-----------------------------|------------------------------------|------------------------|-----------------------------|-------------------------------|-------------------|-----------------|--------------------------------|
| F1 | 260 ~ 8,200 | 0 ~ 23 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F2 | 0 ~ 230 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F3 | 3,600 ~ 13,000 | 0 ~ 11 | 0~200 | ND | ND | ND | ND | ND |
| F4 | 35 ~ 3,300 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F5 | 180 ~ 5,100 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F6 | 0 ~ 4,400 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F7 | 210 ~ 2,800 | 0 ~ 23 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F8 | 0 ~ 5,400 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F9 | 30 ~ 570 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F10 | 9 ~ 35 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F11 | 5 ~ 25 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F12 | 100 ~ 450 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F13 | 80 ~ 240 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F14 | 0 ~ 20 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F15 | 0 ~ 30 | 0 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| F16 | 2,300 | 0 ~ 4 | ND | ND | ND | ND | ND | ND |
| permitted limit | 100 CFU/mL (Drinking water) | 200/100 mL (waterscape facilities) | - | ND/250 mL(bottled water) | | | | ND/50 mL (bottled water) |

알아보고자 분원성연쇄상구균, 녹농균, 살모넬라, 쉬겔라, 아황산원형기성포자형성균 등을 추가로 조사하여 Table 8에 나타내었다.

분원성연쇄상구균의 경우 유럽에서는 먹는물, 자연수 등의 수질의 지표로 널리 사용되고 있으며 WHO도 자연수의 분원성오염 지표로서 분원성대장균군과 함께 권장하고 있다. 분원성연쇄상구균의 지표로서의 특징은 사람과 온혈동물의 분비물에 고농도로 존재하고, 하수나 분비물에 오염된 환경에서 존재하며, 환경에서는 재증식하지 않으며 환경에서 유해물질에 대한 저항성이 대장균보다 강하고 대부분의 온혈동물의 분변에 분원성대장균군보다 많이 존재한다고 알려져 있으나⁸⁾, 본 연구 대상에서는 전 지점에서 불검출로 나타났다.

녹농균은 식물, 곤충, 어류, 양서류, 파충류, 새, 포유류 등 자연계에 널리 분포하고 수분이 많은 환경에 흔히 존재하며, 환자 뿐 아니라 정상인에게도 정착하는 것이 가능한 균으로 알려져 있으며 면역력이 저하된 사람에게서는 병을 일으킬 수 있는 기회성 감염균⁹⁾으로 병원, 수영장, 목욕장 등에서는 주요 감시의 대상이 되고 있다. 특히, 녹농균은 사람에게 있어서 상처에 감염되거나 환자의 호흡기, 눈에 감염하며 병원 감염성 폐렴의 주원인이 될 수도 있고⁹⁾, 브라질, 캐나다, 독일, 스페인, 프랑스, 미국 등을 비롯한 여러 나라의 먹는샘물에서도 녹농균이 검출된 예가 있어 유기물이 최소화된 환경에서도 생존능력이 뛰어난 것으로 알려져 있는데, 다행히 본 연구에서는 검출된 곳이 없는 것으로 나타났다.

살모넬라는 2000여종의 혈청형으로 구분되며 그 가운데 병원성을 갖고 있는 것은 일부에 한정된다. 그중 *S. Typhi*, *S. Paratyphi A, B, C* 등은 사람에게 장티프스나 파라티프스의 원인균이 되고, 이들 법정전염병의 원인이 되는 형을 제외한 대부분의 살모넬라는 급성위장염을 일으키는 식중독의 원인이 된다¹⁰⁾.

쉬겔라는 대장의 급성 세균성 감염증인 세균성 이질의 원인균이며, 발열, 복통, 설사를 주요 증상으로 하며, 중증인 경우 농점상 혈변을 야기한다. 세계 전 지역에서 발생되며 소량의 세균으로도 감염이 성립되는데¹⁰⁾, 본 연구에서는 살모넬라 및 쉬겔라 모두 불검출로 나타났다.

아황산원형기성포자형성균은 그람양성의 간균으로 혐기성균이며 대장균군과 같은 비포자 형성균보다 물속에서 생존력이 강하므로 과거의 미생물 오염이나 간헐적인 오염을 조사하는데 이용될 수 있다. 또한 분변오염의 추적자로서 이용될 수 있는데 포자에 의해 소독제에 내성을 나타낸다. 보통 온혈동물의 분변 속에서 흔히 발견되며 장독소를

분비함으로써 식중독의 원인이 되기도 하는데 이러한 아황산원형기성포자형성균도 전지점에서 불검출이었다.

이와 같이 먹는물의 병원성 미생물 항목을 추가하여 검사한 결과 대부분 불검출로 나타나 안전하다고 판단되었으나, 일반세균 및 대장균이 검출된 곳이 있어 먹는물 수질기준에는 부적합한 것으로 나타난 곳이 있었다. 특히 일반세균의 경우는 절반 이상이 먹는물 기준을 초과하고 있었고, 대장균의 경우도 수경시설에는 기준치 이내이나 먹는물에 적용하였을 때 초과하는 경우가 있었다.

물놀이형 수경시설의 대부분을 차지하는 바닥분수는 주변보다 낮아서 사람들의 접근이 용이한 구조로 되어 있었고, 오염물질 또한 유입될 가능성이 높아서, 특히 비가 오거나 바람이 불면 흙탕물 및 주변 쓰레기 등이 그대로 유입되어 수질을 오염시킬 가능성이 큰 것으로 조사되었다. 이러한 바닥분수 등의 오염방지 대책으로는 소독 및 용수교체 뿐 아니라 분수대 주변에 오염물질의 유입을 막을 수 있는 울타리 등의 설치 및 이용자가 자전거를 타거나 신발 등을 세척하는 행위를 삼가하는 등¹¹⁾ 이용자 준수사항 실천 등도 중요한 것으로 사료되었다.

또한, 앞서도 언급한 바와 같이 물놀이형 수경시설은 주로 어린이들이 뛰어놀다가 음용할 가능성이 크므로 모니터링 항목뿐 아니라 암모니아성 질소 및 잔류염소 등도 추가하여 먹는물 수질기준을 적용하여 관리를 하는 것이 바람직하다고 판단되었다.

그리고, 환경부에서도 물놀이형 수경시설을 환경부 관리지점에서 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에 신설하여 일정규모 이상의 모든 시설에 대해 관리를 강화할 예정에 있는 바 앞으로 관리대상을 민간 시설에까지 확대할 필요가 있다고 사료되었다.

결론

하절기에 시민들의 휴식처로 많이 이용되고 있는 물놀이형 수경시설에 대해 이화학적 항목과 미생물 항목을 통한 수질특성을 알아보고 더 나은 관리방법을 찾는 데 도움이 되고자 관내 16개소에 대해 연구를 진행하여 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

1. 관내 수경시설의 현황 및 관리실태를 살펴본 바, 환경부의 '물놀이형 수경시설 수질관리지침'을 잘 준수하고 있는 것을 알 수 있었다.
2. 수경시설의 수질기준을 초과한 곳은 한군데도 없었으나, 탁도 및 암모니아성 질소가 먹는물 기준을 일부 초

- 과하였으며, 잔류염소도 거의 불검출로 나타났다.
3. 일부지점에서 일반 세균과 대장균이 검출된 곳이 있어 먹는물로는 부적합한 것으로 나타난 곳이 있었다.
 4. 병원성 미생물에 대한 안전성을 알아보기 위하여 실시한 분원성연쇄상구균, 녹농균, 살모넬라, 쉬겔라, 아황산염 기성포자형성균 등은 모두 불검출이었다.
 5. 대부분 상수를 원수로 사용하고 있었고, 관리 또한 잘 하고 있어 크게 우려할 바는 아니었으나, 주 이용 대상인 어린이들이 음용할 가능성이 있으므로 모니터링 항목 뿐 아니라 암모니아성 질소 및 잔류염소 등도 추가하여 먹는물 수질기준을 적용하여 관리를 하는 것이 바람직할 것으로 사료되었다.
 6. 환경부에서도 물놀이형 수경시설을 환경부 관리지침에서 수질 및 수생태계 보전에 관한 법률에 신설하여 일정규모 이상의 모든 시설에 대해 관리를 강화할 예정에 있는바 추후 민간 시설에까지 확대하여 관리할 필요가 있을 것으로 판단된다.

참고문헌

1. 환경부, “물놀이형 수경시설의 수질관리 지침”, (2010)
2. 윤상훈, 김선경, 김난희, 위환, 이세형, 조광운, 김동수, 조영관, “물놀이형 수경시설의 수질과 항생제 내성 대장균 분포에 관한 연구”, *한국환경보건학회지*, 40(3), pp.225~233(2014).
3. 환경부, “수경시설 수질관리방안 연구”(2010).
4. 환경부보도자료, “여름철놀이 분수 수질관리에 관심 필요”, (2014.6).
5. 질병관리본부, 레지오넬라증 관리지침(2012).
6. 김정아, 이세화, 기민석, 김종임, 허영선, “물놀이분수의 수질실태 조사에 관한 연구” *대전광역시보건환경연구원*(2012).
7. 이인섭, 조영근, “바닥분수에서 물놀이를 하는 아동들의 *Legionella*균 감염 위험도 분석”, *Korean Journal of microbiology* vol.49, No.4, pp.360~ 368(2013).
8. 최성화, 이경심, 김미희, 김정아, 김효진, “먹는물의 세균항목 확대 적용평가”, *부산시보건환경연구원보* (1988).
9. Jawetz, Melnick, Adelgerg's, *Medical Microbiology*, 21th ed, Appleton&Lange(1999).
10. 박석기, 안승구, 엄석원, “먹는물의 수질관리”, *동화기술*, pp.195~207(1998).
11. 송주훈, 채수천, 강보익, 유두철, 정상돈, 이미선, 박소영, 정주리, 박미연, “물놀이 분수시설 수질 실태조사” *전라북도보건환경연구원보*(2010).
12. 조영근, “수경시설 물놀이에 따른 대장균 감염의 위험도 분석”, *한국환경보건학회지*, 38(1), pp.73~81(2012).
13. 김영수, 최은혜, 김남이, 김선경, 이태욱, “다중이용시설 용수의 미생물학적 안전성 조사”, *강원도보건환경연구원보*, vol23, pp.7~14(2012).
14. 이광희, 양승준, 신현식, 이아영, 서나영, 신강숙, 신태하, 조경주, “다중이용시설에서 레지오넬라균속의 분리와 미생물분포”, *충청북도보건환경연구원보*(21), pp.3~28 (2012).
15. 김민자, “국내의 레지오넬라증의 발생과 건축물 냉각탑수의 레지오넬라 오염 현황 및 위생적 관리방안”, *대한위생학회* 1999년 한일국제심포지움(5), pp.31~48 (1999).
16. 환경부, “세계보건기구(WHO) 먹는물 수질관리 지침서”, (1998).
17. 환경부, 환경부고시 제 2013-136호, 먹는물수질공정시험기준(2013).
18. 정현미, “먹는물 및 먹는 샘물의 미생물 검사”, *경희대학교 지구환경연구소 지구환경논문집*, 9(1), pp.71~87(1998).
19. 김일호, “도시용수의 위생학적 안전성 관리현황 및 향후 과제”, *서울도시연구 제4권 제1호*, pp.183~192(2013).
20. 환경부, 환경부고시 제 2014-163호, 수질오염공정시험기준(2014).